

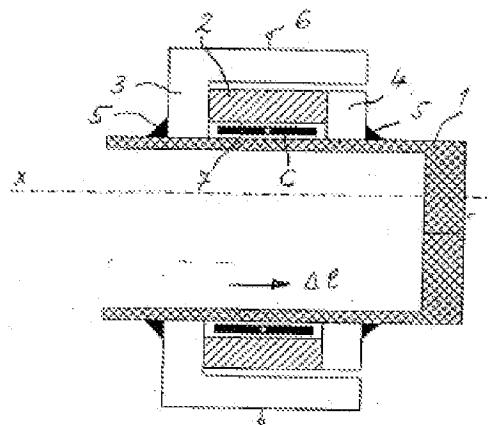
Length sensor as high pressure sensor for measuring very high pressures in diesel combustion engine fuel-injection system common-rail

Publication number: DE10018665
Publication date: 2001-10-25
Inventor: GLEHR MANFRED (DE)
Applicant: SIEMENS AG (DE)
Classification:
- **international:** G01B7/16; G01L1/18; G01L9/00; G01B7/16; G01L1/18;
G01L9/00; (IPC1-7): G01L9/08; F02D41/00; G01B7/24;
G01L1/18; G01N3/08; G01B101/20
- **European:** G01B7/16; G01L1/18B; G01L9/00B
Application number: DE20001018665 20000414
Priority number(s): DE20001018665 20000414

[Report a data error here](#)

Abstract of DE10018665

A length sensor for measuring a length-change of a component (1), such as a closed tubular body, more specifically a shaft etc, containing a high-pressure fluid, has at least one piezoelectric element (2) clamped between two retaining parts (3,4) rigidly joined to the component (1) so that a length-change (Δl) of the component (1) effects a change in mechanical stress/tension and thereby a change in an electrical property of the piezoelectric element (2), the latter being specifically a ring-shaped body surrounding the component (1). An electronic evaluating circuit (10) generates a measurement signal in relation to the change of the electrical property of the piezoelectric element (2). The piezoelectric element (2) is clamped by the two retaining parts (3,4) so that a change in length (Δl) of the component (1) specifically effects a change in the compressive stress or in the tensile stress of the piezo-electric element (2).



.....
Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide



⑯ BUNDESREPUBLIK

DEUTSCHLAND



DEUTSCHES

PATENT- UND

MARKENAMT

⑯ **Offenlegungsschrift**
⑯ **DE 100 18 665 A 1**

⑯ Int. Cl. 7:

G 01 L 9/08

G 01 B 7/24

G 01 N 3/08

G 01 L 1/18

F 02 D 41/00

// G01B 101:20

⑯ Aktenzeichen: 100 18 665.3
⑯ Anmeldetag: 14. 4. 2000
⑯ Offenlegungstag: 25. 10. 2001

DE 100 18 665 A 1

⑯ Anmelder:
Siemens AG, 80333 München, DE

⑯ Erfinder:
Glehr, Manfred, 93073 Neutraubling, DE

⑯ Entgegenhaltungen:

DE 22 01 320 A
DE 24 40 493 B
GB 21 78 536 A
US 45 97 288
US 44 30 899
US 19 30 905

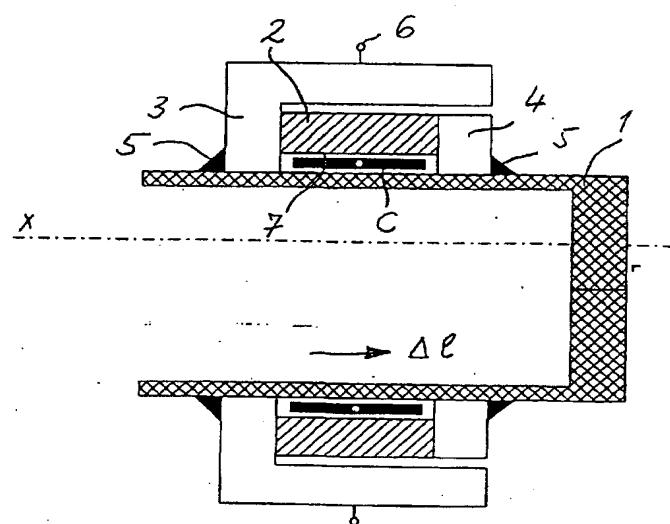
Cavalloni, C., Engeler, P., Schaffner, G.:
Dehnungsmessung im Inneren von Strukturen mit
piezoelektrischen Sensoren. In Messen und Prüfen,
April 1991;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑯ Längensor mit Piezoeffekt

⑯ Beschrieben wird ein Längensor zum Messen einer Längenänderung eines Bauteils (1). Der Längensor besteht aus mindestens einem piezoelektrischen Element (2), das zwischen zwei mit dem Bauteil (1) fest verbundenen Halteteilen (3, 4) so eingespannt ist, daß eine Längenänderung des Bauteils (1) eine Änderung der mechanischen Spannung und dadurch einer elektrischen Eigenschaft des piezoelektrischen Elementes (2) bewirkt, in Abhängigkeit von der ein Meßsignal erzeugt wird. Der Längensor ist als Hochdrucksensor einsetzbar.



DE 100 18 665 A 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Längensor zum Messen einer Längenänderung eines Bauteils. Insbesondere betrifft die Erfindung einen Längensor, der als Hochdrucksensor verwendet werden kann.

[0002] Zum Messen sehr hoher Drücke bis etwa 3000 bar Berstdruck, wie sie z. B. in der Verteilerschiene (common rail) der Kraftstoffeinspritzanlage einer Diesel-Brennkraftmaschine auftreten, sind Hochdrucksensoren bekannt geworden, bei denen die Wölbung einer dem Druck ausgesetzten metallischen Membran mittels Dehnungsmeßstreifen erfaßt und hieraus z. B. in einer Brückenschaltung ein Drucksignal gebildet wird. Der Durchmesser derartiger metallischer Membranen ist sehr klein, und ihre maximale Wölbung liegt in der Größenordnung von 10 µm bis 50 µm. Ferner müssen sie bis zu 10^{10} Lastschaltspiele aushalten. Damit sich die Kennlinie des Hochdrucksensors nicht ändert, muß der Hochdrucksensor so ausgelegt werden, daß die beteiligten Materialien im Betrieb nicht über den Hookschen Bereich hinaus belastet werden. Das Verhältnis von Membrandicke zu Membrandurchmesser ist somit an die Eigenschaften der beteiligten Materialien gebunden und kann daher ein vorgegebenes materialbedingtes Verhältnis nicht überschreiten. Dies begrenzt die Meßempfindlichkeit. Da die metallische Membran dem Hochdruck unmittelbar ausgesetzt ist, muß sie strömungsmitteldicht in das druckführende Rohr eingesetzt werden. Dies erfolgt z. B. dadurch, daß der Hochdrucksensor über eine Doppelkegeldichtung an das druckführende Rohr angeflanscht wird. Die hierbei auftretenden Abdichtungs- und Fertigungsschwierigkeiten schlagen sich in entsprechend hohen Herstellungskosten nieder.

[0003] Es sind ferner piezoelektrische Drucksensoren bekannt, bei denen ein piezoelektrisches Element dem Druck (z. B. Öl- oder Zylinderdruck) unmittelbar ausgesetzt wird. Derartige piezoelektrische Drucksensoren werden bisher jedoch im allgemeinen nur für niedrigere Drücke eingesetzt. Im übrigen treten auch bei derartigen Drucksensoren die oben beschriebenen Abdichtungs- und Fertigungsprobleme auf, abgesehen davon, daß die maximal mögliche Lastspielanzahl derartiger Sensoren relativ beschränkt sein dürfte.

[0004] Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Längensor zu schaffen, der extrem geringe Längenänderungen eines Bauteils erfassen kann und daher auch als Hochdrucksensor verwendet werden kann. Der Längensor soll eine hohe Meßempfindlichkeit haben, einfach und kostengünstig herzustellen sein und eine sehr große Anzahl von Lastschaltspielen aushalten.

[0005] Diese Aufgabe wird durch die in Anspruch 1 definierte Erfindung gelöst.

[0006] Bei dem erfindungsgemäß ausgebildeten Längensor ist das piezoelektrische Element zwischen den mit dem Bauteil fest verbundenen Halteteilen so eingespannt, daß eine Längenänderung des Bauteils eine Längenänderung einer mechanischen Spannung (der Druck- und Zugspannung oder auch der Scherspannung) des piezoelektrischen Elementes bewirkt. Die hierdurch bedingte Änderung der elektrischen Eigenschaften des piezoelektrischen Elementes werden von einer elektronischen Auswerteschaltung zur Erzeugung eines Meßsignals verwendet.

[0007] Als piezoelektrisches Element kann ein Quarzkristall oder eine Piezokeramik verwendet werden. Die Haltepteile, die z. B. aus Stahl bestehen, können durch Schweißen oder Schrauben in einfacher Weise an dem Bauteil befestigt werden. Als elektronische Auswerteschaltung kann z. B. eine herkömmliche Oszillatorschaltung verwendet werden. Der erfindungsgemäß ausgebildete Längensor zeichnet sich daher durch große Einfachheit und entsprechend nied-

ige Herstellungskosten aus. Dennoch hat er eine hohe Meßempfindlichkeit, da sich bereits bei sehr geringen Längenänderungen des Bauteils die mechanische Spannung des piezoelektrischen Elementes und damit seine elektrischen Eigenschaften deutlich ändern.

[0008] Ist das Bauteil ein ein Hochdruckfluid enthaltender Rohrkörper, bei dem sich Längenänderungen aufgrund von Änderungen des Hochdrucks ergeben, so kann der Längensor als Hochdrucksensor verwendet werden. Da das piezoelektrische Element dem Druck nicht unmittelbar ausgesetzt ist, sondern mit Hilfe der Haltepteile an der Außenseite des Rohrkörpers befestigt wird, treten die eingangs geschilderten Abdichtungs- und Fertigungsprobleme nicht auf. Darauf hinaus kann ein entsprechend ausgebildeter Hochdrucksensor eine extrem hohe Anzahl von Lastschaltspielen (bis zu 10^{10}) aushalten. Außerdem ist er zum Erfassen von sehr großen Drücken bis 3000 bar Berstdruck ohne weiteres geeignet. Der erfindungsgemäß ausgebildete Hochdrucksensor läßt sich daher beispielsweise als Hochdrucksensor für den Druck in einer Verteilerschiene einer Kraftstoffeinspritzanlage einer Brennkraftmaschine verwenden.

[0009] Da das piezoelektrische Element, insbesondere wenn es aus Piezokeramik besteht, auf Zugbeanspruchung nicht so gut wie auf Druckbeanspruchung reagiert, ist in weiterer Ausgestaltung der Erfindung vorgesehen, daß es durch die Haltepteile einer Druckvorspannung unterworfen wird, die doppelt so groß wie die im Betrieb zu erwartende maximale Zugspannung ist. Das piezoelektrische Element ist dann sowohl im Betriebs- wie auch im Außerbetriebszustand keinen Zugbeanspruchungen ausgesetzt.

[0010] Piezokeramik ist kostengünstiger und in der mechanischen Gestaltungsfähigkeit flexibler als Quarz. Andererseits ist Piezokeramik temperaturempfindlicher. Zur Erzielung einer hohen Meßgenauigkeit empiehlt es sich daher, für eine Kompensation von Temperatureinflüssen zu sorgen. In vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung ist daher vorgesehen, daß ein weiteres piezoelektrisches Element zwischen den Haltepteilen so eingespannt ist, daß eine Längenänderung des Bauteils gegensinnige Änderungen der mechanischen Spannungen und elektrischen Eigenschaften der beiden piezoelektrischen Elemente bewirkt. Beispielsweise durch Differenzbildung der die beiden piezoelektrischen Elemente durchlaufenden Signale lassen sich dann Temperatureinflüsse oder andere Umwelteinflüsse wie Alterung weitgehend ausschalten.

[0011] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung gehen aus den Unteransprüchen hervor.

[0012] Anhand der Zeichnungen werden bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung näher erläutert. Es zeigt:

[0013] Fig. 1 einen Längsschnitt durch eine schematisch dargestellte Ausführungsform eines an einem Bauteil angebrachten Längensors;

[0014] Fig. 2 eine der Fig. 1 entsprechende Darstellung einer abgewandelten Ausführungsform;

[0015] Fig. 3 bis 5 verschiedene Ausführungsformen der Elektroden des piezoelektrischen Elementes des Längensors in den Fig. 1 und 2;

[0016] Fig. 6 ein Ersatzschaltbild des piezoelektrischen Elementes;

[0017] Fig. 7 bis 10 schematische Schaltbilder verschiedener Ausführungsformen der Auswerteschaltung;

[0018] Fig. 11 eine schematische Schnittansicht eines Längensors;

[0019] Fig. 12 eine schematische Draufsicht auf eine abgewandelte Ausführungsform eines Längensors mit Temperatursausgleich;

[0020] Fig. 13, 14 schematische Schnittdarstellungen einer abgewandelten Ausführungsform eines Längensors

mit Temperaturausgleich in unterschiedlichen Betriebsstellungen;

[0021] Fig. 15 eine schematische Schnittdarstellung eines weiteren Ausführungsbeispiels eines Längensensors mit Temperaturausgleich;

[0022] Fig. 16 bis 19 verschiedene Ausführungsformen einer Auswerteschaltung für die Längensensoren der Fig. 11 bis 15.

[0023] Das in Fig. 1 dargestellte Bauteil 1 ist ein geschlossener Rohrkörper aus einem elastisch dehnbaren Material wie z. B. Stahl, der mit einem Hochdruckfluid gefüllt ist. Beispielsweise steht das Innere des Bauteils 1 mit der Verteilerschiene (common rail) der Kraftstoffeinspritzanlage einer Diesel-Brennkraftmaschine (nicht gezeigt) in Verbindung. Aufgrund des im Inneren des Bauteils 1 herrschenden hohen Drucks von z. B. 2000 bar bis 3000 bar erfährt das Bauteil 1 eine Längenänderung (angedeutet durch den Pfeil Δl) in Richtung der x-Achse. Durch Messen der Längenänderung Δl wird dann auf dem im Bauteil 1 herrschenden Druck des Fluides rückgeschlossen.

[0024] Zum Messen der Längenänderung Δl ist der in Fig. 1 dargestellte Längensor vorgesehen, dessen mechanischer Teil aus einem piezoelektrischen Element 2 mit Elektroden 6, 7 und zwei Halteteilen 3, 4 besteht. Das piezoelektrische Element 2 ist im dargestellten Ausführungsbeispiel als das Bauteil 1 umgebender Ringkörper ausgebildet, der von den Halteteilen 3, 4 mit einer vorgegebenen Vorspannung in Richtung der x-Achse eingespannt wird. Die aus Stahl bestehenden, ebenfalls ringförmig ausgebildeten Halteteile 3, 4 sind mit dem Bauteil 1 fest verbunden, beispielsweise durch Schweißen, wie durch Schweißnähte 5 angedeutet, oder durch Schrauben. Die Halteteile 3, 4 übertragen somit eine Längenänderung Δl des Bauteils 1 unmittelbar auf das piezoelektrische Element 2, was sich in einer entsprechenden Änderung der Druck- bzw. Zugspannung des piezoelektrischen Elementes 2 niederschlägt. Die hierdurch bedingte Änderung der Resonanzfrequenz des piezoelektrischen Elementes 2 wird dann in einer Auswerteschaltung zur Erzeugung eines Meßsignals verwendet, wie im folgenden noch genauer erläutert wird.

[0025] Wie bereits erwähnt, werden die Halteteile 3, 4 am Bauteil 1 so angebracht, daß das piezoelektrische Element 2 in Richtung der x-Achse vorgespannt wird und somit unter einer vorgegebenen Druckspannung steht. Diese Vorspannung wird zweckmäßigerweise so gewählt, daß das piezoelektrische Element 2 im gesamten Bereich der möglichen Längenänderungen Δl des Bauteils 1 im Druckspannungsbe reich verbleibt, da piezoelektrisches Material, insbesondere Piezokeramik, auf Druckspannungen besser als auf Zugspannungen reagiert.

[0026] An dieser Stelle sei angemerkt, daß das piezoelektrische Element von den Halteteilen auch so eingespannt werden kann, daß es auf Scherung beansprucht wird, wie dies an Hand der Fig. 13, 14 noch genauer erläutert wird.

[0027] Bei dem in Fig. 1 dargestellten Ausführungsbeispiel ist die Elektrode 6 als Masseelektrode ausgebildet, wobei die Masse von den Halteteilen 3, 4 und dem Bauteil 1 gebildet wird. Die andere Elektrode 7 besteht beispielsweise aus einer auf das piezoelektrische Element 2 aufgedampften Metallschicht, die kapazitiv (also kontaktlos) mit einer Kondensatorplatte C verbunden ist. Wie gezeigt, ist die Elektrode 7 radial innerhalb des piezoelektrischen Elementes 2 angeordnet, während ein hülsenförmiger Abschnitt des Halteteils 3, der einen Teil der Elektrode 6 bildet, das piezoelektrische Element 2 außen umgibt. Hierdurch wird eine gewisse elektrische Abschirmung der Elektrode 7 und des piezoelektrischen Elementes 2 erzielt. Grundsätzlich ist jedoch auch die umgekehrte Anordnung möglich, bei der sich die

Masseelektrode radial innerhalb und die andere Elektrode radial außerhalb des piezoelektrischen Elements 2 befindet.

[0028] Die Ausführungsform der Fig. 2 unterscheidet sich von der in Fig. 1 dadurch, daß das piezoelektrische Element

5 2 und die Halteteile 3, 4 nicht als Ringkörper, sondern lediglich als seitlich am Bauteil 1 angebrachte Stabkörper ausgebildet sind. Die ringförmige Anordnung der Fig. 1 wird insbesondere bei kleinen Gesamtabmessungen gewählt, während die in Fig. 2 gezeigte seitliche Anordnung bei größeren Gesamtabmessungen ausreichend ist.

[0029] Ein weiterer Unterschied des Ausführungsbeispiels der Fig. 2 gegenüber dem der Fig. 1 besteht darin, daß die Elektroden 6, 7 nicht quer zur x-Achse, sondern parallel zur x-Achse angeordnet sind. Hierbei wird die als Masseelektrode ausgebildete Elektrode 6 wiederum von den Halteteilen 3, 4 und dem Bauteil 1 gebildet, während die zwischen dem piezoelektrischen Element 2 und dem Halteteil 3 liegende Elektrode 7 durch einen Isolator 8 gegenüber der Masse isoliert ist.

10 20 [0030] Die Fig. 3 bis 5 zeigen verschiedene Möglichkeiten zum Anordnen und Ausbilden der Elektroden 6, 7. Die Anordnung der Elektroden 6, 7 in Fig. 3 entspricht der in Fig. 2. Bei der Anordnung der Fig. 4 sind beide Elektroden 6, 7 gegenüber den Halteteilen 3, 4 durch jeweils einen Isolator 8 bzw. 9 isoliert. Bei der Anordnung der Fig. 5 sind die Elektroden 6, 7 auf Flächen des piezoelektrischen Elementes 2 aufgedampft, die quer zur Richtung der Längenänderung ausgerichtet sind. Dies bietet die Möglichkeit, die Elektroden 6, 7 kontaktlos mit den Platten eines Kondensators C zu koppeln, dessen Dielektrikum im wesentlichen von dem piezoelektrischen Element 2 gebildet wird.

15 25 30 [0031] Wie bereits erwähnt, besteht das piezoelektrische Element 2 beispielsweise aus einem Quarz. Die elektrischen Eigenschaften des Quarzes lassen sich bekanntlich durch ein elektrisches Ersatzschaltbild (Fig. 6) veranschaulichen. Der Quarz stellt gewissermaßen einen Schwingkreis mit Kondensator C, Widerstand R und Spule L sowie mit der Streukapazität C0 dar, für den üblicherweise das in Fig. 6 gezeigte Schaltzeichen verwendet wird. Im folgenden wird daher das piezoelektrische Element 2 der Fig. 1 bis 5 als piezoelektrisches Glied Q bezeichnet und mit dem Schaltzeichen rechts in Fig. 6 dargestellt.

35 40 45 [0032] Die Auswerteschaltung 10 des Längensensors weist zweckmäßigerweise eine Oszillatorschaltung auf, deren frequenzbestimmendes Element das piezoelektrische Glied Q ist. Da derartige Oszillatorschaltungen dem Fachmann in großer Vielfalt bekannt sind, werden im folgenden lediglich einige Ausführungsbeispiele kurz angerissen. Unter frequenzbestimmend wird dabei verstanden, daß das piezoelektrische Glied Q die Eigenschaften eines Schwingkreises maßgeblich beeinflußt. Dabei kann es sich beispielsweise um die Resonanzfrequenz handeln.

50 55 60 [0033] So zeigt beispielsweise Fig. 7 eine Auswerteschaltung 10 in Form einer einfachen Oszillatorschaltung mit dem piezoelektrischen Glied Q (piezoelektrischen Element 2) als frequenzbestimmendem Element, zwei invertierenden Operationsverstärkern OP und einem Widerstand R. Eine andere Ausführungsform einer Oszillatorschaltung zeigt Fig. 8, bei der das piezoelektrische Glied Q über seine eine Elektrode einseitig geerdet ist, während die andere Elektrode über zwei Kondensatoren C1 und C2 zur Phasendrehung mit einem Verstärker V verbunden ist. Ein weiterer Kondensator C3 ist zu dem das piezoelektrische Element Q, die Kondensatoren C1, C2 und den Verstärker V enthaltenden Zweig parallel geschaltet.

65 [0034] In einer derartigen Auswerteschaltung 10 wird das piezoelektrische Glied Q zu Schwingungen angeregt, bei denen es sich um Longitudinal-, Transversal- oder Scher-

schwingungen handeln kann. Hierbei können die gebräuchlichen Schnitte des Quarzkristalls zur Anwendung kommen, wobei der AT-Schnitt wegen seiner bekannt guten Temperatureigenschaften bevorzugt wird.

[0035] Die Auswerteschaltung 10 kann die Frequenz, Periodendauer, Phasenverschiebung, eine Schwebungsfrequenz oder Pulsweitenmodulation eines das piezoelektrische Glied Q durchlaufenden elektrischen Signals zur Erzeugung eines Meßsignals verwenden. Das Meßsignal kann in Form eines Längensignals abgegeben werden, wenn der Längensor ausschließlich zum Messen von Längenänderungen verwendet wird. Soll der Längensor jedoch als Hochdrucksensor eingesetzt werden, so wird das Längenänderungssignal durch die Auswerteschaltung 10 in ein Drucksignal umgewandelt.

[0036] In den Fig. 9 und 10 ist nochmals in stark schematisierter Weise eine Auswerteschaltung 10 in Form einer Oszillatorschaltung dargestellt, deren frequenzbestimmendes Element von dem piezoelektrischen Glied Q gebildet wird. Die Fig. 9 zeigt eine "Dreidraht-Ausführung" der Auswerteschaltung, bei der zwei Leitungen zur Stromversorgung und eine eigene Signalleitung für das abgegriffene Meßsignal vorgesehen ist. Bei der Ausführungsform der Fig. 10 handelt es sich um eine "Zweidraht-Ausführung", bei der die Signalübertragung und die Stromversorgung auf denselben Leitungen erfolgen, jedoch durch unterschiedliche Frequenzen oder durch Gleich- und Wechselstrom voneinander getrennt werden.

[0037] Das Meßsignal kann als Augenblickswert- oder Mittelwertsignal ausgegeben werden. Das Mittelwertsignal hat eine hohe Genauigkeit und erlaubt ein integrierendes Auswerteverfahren, ist jedoch langsam. Es wird vorzugsweise als digitaler Wert und als serielle Information ausgegeben. Das Augenblickswertsignal hat zwar eine geringere Genauigkeit, ist jedoch schneller. Es muß deshalb meist mit einem Filter mit einer Grenzfrequenz oberhalb des gewünschten Übertragungsfrequenzbereichs gegen Störimpulse nachbearbeitet werden. Es wird vorzugsweise als pulsweitenmoduliertes Signal für einen Mikrocontroller verwendet.

[0038] Wie bereits erwähnt, kann es sich bei dem Bauteil 2 um die Verteilerschiene (common rail) einer Kraftstoffeinspritzanlage handeln. Der als Hochdrucksensor ausgebildete Längensor lässt sich dann durch Messen des Drucks zu einer Diagnose der Verteilerschiene verwenden, nachdem der Sensor im eingebauten Zustand kalibriert wurde. Ferner können derartige Hochdrucksensoren zur Diagnose der Einspritzventile verwendet werden. Beim Einspritzvorgang der einzelnen Einspritzventile treten Druckschwankungen auf, deren Ausmaß von der Qualität der einzelnen Einspritzventile abhängt und auch einen Rückschluß auf die eingespritzte Kraftstoffmenge erlaubt. Diese kurzfristig auftretenden Druckschwankungen können durch die beschriebenen Hochdrucksensoren gemessen werden, und die Abweichungen der Druckschwankungen an den einzelnen Einspritzventilen lassen sich dann als Maß für die Qualität des betreffenden Einspritzventils im Verhältnis zum Durchschnittswert der Einspritzventile oder auch im Verhältnis zum zeitlichen Mittelwert der Eigenschaften eines einzelnen Einspritzventils (Alterung) auswerten.

[0039] Wie bereits erwähnt, ist Quarz teurer als Piezokeramik und hinsichtlich seiner mechanischen Gestaltungsfähigkeit nicht so flexibel. Piezokeramik ist jedoch temperaturempfindlicher. Die in den Fig. 11 bis 15 dargestellten Längensensoren bzw. Hochdrucksensoren sind daher so ausgebildet, daß sich Temperatureinflüsse auch bei Verwendung von Piezokeramik als Sensorelement ausschalten lassen.

[0040] Der in Fig. 11 dargestellte Längensor entspricht den in den Fig. 1 und 2 dargestellten Längensensoren insfern, als ein piezoelektrisches Element 2 zwischen zwei Halteteilen 3, 4 eingespannt ist, die ihrerseits an dem Bauteil 1 befestigt sind. Bei dem in Fig. 4 dargestellten Ausführungsbeispiel ist jedoch noch ein zweites piezoelektrisches Element 2a vorgesehen, das zwischen den Halteteilen 3, 4 so eingespannt ist, daß es bei einer Längenänderung Δl des Bauteils 1 gegensinnig zu dem piezoelektrischen Element 2 beansprucht wird. Wenn somit das piezoelektrische Element 2 gedehnt wird, wird das piezoelektrische Element 2a gestaucht, und umgekehrt.

[0041] Zu diesem Zweck hat das Halteteil 4 einen am Bauteil 1 befestigten Befestigungsabschnitt 12, von dem ein Arm 14 mit einem zur x-Achse parallelen Abschnitt und einem senkrecht dazu nach innen verlaufenden Abschnitt abgeht. Das Halteteil 3 besteht aus einem Befestigungsabschnitt 11, von dem ein Arm 13 abgeht. Der Arm 13 hat einen senkrecht zur x-Achse nach außen verlaufenden Abschnitt, einen parallel zur x-Achse verlaufenden Abschnitt, der das piezoelektrische Element 2a übergreift, und einen quer zur x-Achse nach innen verlaufenden Abschnitt. Aufgrund dieser Gestaltung hat jedes Halteteil 3, 4 zwei entgegengesetzt gerichtete Abstützflächen 13a, 13b und 14a, 14b, die paarweise einander so zugeordnet sind, daß das piezoelektrische Element 2 zwischen den Abstützflächen 13a und 14a und das piezoelektrische Element 2a zwischen den Stützflächen 13b und 14b eingespannt wird. Die Anordnung ist hierbei so getroffen, daß die beiden piezoelektrischen Elemente 2 und 2a in einer Richtung senkrecht zur x-Achse fliehen.

[0042] Es versteht sich, daß die piezoelektrischen Elemente 2 und 2a als Ringkörper wie in Fig. 1 oder als Stabkörper wie in Fig. 2 ausgebildet werden können.

[0043] Fig. 12 zeigt einen Längensor, der an einer Seite eines eben ausgebildeten Bauteils 1 angebracht werden kann und der zum Messen einer Längenänderung Δl in Form einer Parallelverschiebung dient, die durch die Zeichen x sowie x + dx angedeutet ist. In diesem Fall ist das Halteteil 3 T-förmig mit einem Befestigungsabschnitt 11 und einem quer dazu verlaufenden Arm 13 ausgebildet, während das Halteteil 4 hufeisförmig mit einem Befestigungsabschnitt 12 und zwei daran angeformten Armen 14 ausgebildet ist. Der Arm 13 des Halteteils 3 greift hierbei so zwischen die Arme 14 des Halteteils 4, daß die piezoelektrischen Elemente 2 zwischen den sich gegenüberliegenden Abstützflächen 13a, 14a und 13b, 14b der beiden Halteteile 3, 4 eingespannt werden. Erfährt somit das Bauteil 1 im Bereich der Schweißnaht 5 des Halteteils 4 eine Längenänderung Δl relativ zu der Schweißnaht 5 des Halteteils 3, so kommt es zu einer gegensinnigen Beanspruchung der piezoelektrischen Elemente 2 und 2a ähnlich wie in Fig. 11.

[0044] In diesem Fall ist die Anordnung allerdings so getroffen, daß die piezoelektrischen Elemente 2 und 2a in Richtung der x-Achse zueinander fliehen.

[0045] Bei den Ausführungsformen der Fig. 11 und 12 werden die piezoelektrischen Elemente 2 und 2a auf Druck und Zug beansprucht. Bei der in den Fig. 13 und 14 gezeigten Ausführungsform werden die piezoelektrischen Elemente 2 und 2a dagegen auf Scherung beansprucht. Zu diesem Zweck sind die piezoelektrischen Elemente 2, 2a zwischen sich gegenüberliegenden Abstützflächen 13a, 14a und 13b, 14b eingespannt, die nicht senkrecht zur Richtung der Längenänderung Δl , sondern parallel dazu verlaufen. Hierzu sind die beiden Halteteile 3, 4 L-förmig mit einem senkrecht zur x-Achse verlaufenden Befestigungsabschnitt 11 bzw. 12 und einem parallel zur x-Achse verlaufenden Arm 13 bzw. 14 versehen, wie dies in den Fig. 13 und 14 dargestellt ist.

[0046] Auch bei den in den **Fig. 11 bis 14** dargestellten Ausführungsbeispielen werden die piezoelektrischen Elemente **2** und **2a** einer mechanischen Vorspannung unterworfen, um Zugspannungen in den piezoelektrischen Elementen zu vermeiden. Zweckmäßigerweise wird die Vorspannung so gewählt, daß sie doppelt so groß ist wie die im Betrieb maximal auftretende Zugspannung. Die mechanische Vorspannung der Sensoren ist in **Fig. 13** durch eine Schrägstellung des piezoelektrischen Elementes **2a** symbolisch ange deutet. **Fig. 14** zeigt den Zustand nach einer Längenänderung Δl , wobei die hierdurch bedingte Änderung der mechanischen Beanspruchung der piezoelektrischen Elemente **2**, **2a** wiederum symbolisch angedeutet ist.

[0047] Bei dem in **Fig. 15** dargestellten Ausführungsbeispiel besteht das Bauteil **1** aus einer Welle. Der aus den piezoelektrischen Elementen **2**, **2a** und den Halteteilen **3**, **4** bestehende Sensor dient in diesem Fall ausschließlich als Längensensor. Er hat einen ähnlichen Aufbau wie in **Fig. 11**, wobei die Anordnung allerdings so getroffen ist, daß die piezoelektrischen Elemente **2**, **2a** nicht senkrecht zur x-Achse, sondern parallel zur x-Achse fließen. Hierdurch ergibt sich ein besonders kompakter Aufbau des Sensors und eine einfache geometrische Form der Halteteile **3**, **4**, die, wie schematisch angedeutet, beispielsweise mittels Paßstiften an der Welle befestigt werden.

[0048] Wenn auch in den **Fig. 11 bis 15** nicht dargestellt, versteht es sich jedoch, daß die piezoelektrischen Elemente **2** und **2a** jeweils mit zwei Elektroden versehen sind, die wie in den **Fig. 3 bis 5** ausgebildet sein können.

[0049] Da bei den Ausführungsbeispielen der **Fig. 11 bis 15** die piezoelektrischen Elemente **2**, **2a** bei einer Längenänderung Δl des Bauteils **1** gegensinnig beansprucht werden, wird bei einer Differenzbildung der die piezoelektrischen Elemente **2**, **2a** durchlaufenden Signale der Signalhub verdoppelt. Bei einer Änderung der Umgebungstemperatur (oder anderen Umwelteinflüssen) kommt es dagegen zu einer gleichsinnigen Dehnung oder Kontraktion der piezoelektrischen Elemente **2** und **2a**. Durch die oben erwähnte Differenzbildung werden daher die durch die Temperaturänderung bedingten Signalanteile eliminiert.

[0050] Eine andere Möglichkeit zur Kompensation von Temperaturinflüssen besteht darin, durch einen Vergleich der die beiden piezoelektrischen Elemente **2** und **2a** durchlaufenden Signale den temperaturbedingten Signalanteil zu ermitteln und diesen dann bei der Bildung des Meßsignals entsprechend zu berücksichtigen.

[0051] Entsprechend ausgebildete Auswerteschaltungen **10** sind in den **Fig. 16 bis 19** dargestellt.

[0052] So besteht die Auswerteschaltung **10** der **Fig. 16** aus einer mit einem sinusförmigen Signal gespeisten Brückenschaltung mit den beiden piezoelektrischen Gliedern **Q1**, **Q2** und zwei zweipoligen Gliedern **Z1**, **Z2** (z. B. in Form von Widerständen). Der **Q1** und **Z1** enthaltende Zweig und der **Q2** und **Z2** enthaltende Zweig sind mit einem Differenzverstärker OP_{Diff} zur Erzeugung eines Differenzsignals verbunden, dessen Amplitude oder Frequenz oder Phase zur Bildung des Meßsignals auswertbar ist.

[0053] In **Fig. 17** ist in schematischer Weise eine Auswerteschaltung **10** angedeutet, bei der Rechtecksignale die beiden piezoelektrischen Glieder **Q1** und **Q2** durchlaufen und in einer Vergleichsschaltung durch Erfassen ihrer Laufzeit- oder Phasenunterschiede zur Bildung des Meßsignals ausgewertet werden.

[0054] Die in **Fig. 18** dargestellte Auswerteschaltung **2** besteht aus zwei einfachen Oszillatoren gemäß **Fig. 7** mit jeweils einem piezoelektrischen Glied **Q1** bzw. **Q2**, zwei invertierenden Operationsverstärkern **OP1** bzw. **OP2** und einem Widerstand **R1** bzw. **R2**. Die Ausgänge der beiden Os-

zillatoren sind in einem Exklusiv-ODER-Glied verknüpft. Die als Rechteckimpulse vorliegenden Ausgangssignale **a** und **b** der beiden Oszillatoren werden in dem Exklusiv-ODER-Glied OR so verknüpft, daß die entstehenden x-Im pulse eine umso größere Impulsbreite haben, je größer die Frequenzdifferenz zwischen **a** und **b** ist. Dadurch werden, wie bereits erwähnt, die temperaturbedingten Signalanteile eliminiert. Im Fall analoger Signalpegel entsteht durch die Überlagerung der beiden Ausgangssignale der Oszillatoren eine Differenzfrequenz, die umso größer ist, je größer die Änderung der mechanischen Spannung in den piezoelektrischen Elementen ist.

[0055] In **Fig. 19** sind die piezoelektrischen Glieder **Q1** und **Q2** wiederum die frequenzbestimmenden Elemente zweier Oszillatoren, die als Frequenzoszillator oder Laufzeitoszillator ausgebildet sein können. Die Datenübergabe durch die Auswertelogik kann seriell oder parallel, analog oder digital erfolgen.

Patentansprüche

1. Längensor zum Messen einer Längenänderung eines Bauteils **(1)** mit mindestens einem piezoelektrischen Element **(2)**, das zwischen zwei beabstandeten, mit dem Bauteil **(1)** fest verbundenen Halteteilen **(3), (4)** so eingespannt ist, daß eine Längenänderung (Δl) des Bauteils **(1)** eine Änderung einer mechanischen Spannung und dadurch eine Änderung einer elektrischen Eigenschaft des piezoelektrischen Elementes **(2)** bewirkt, und einer elektronischen Auswerteschaltung **(10)**, die in Abhängigkeit von der Änderung der elektrischen Eigenschaft des piezoelektrischen Elementes **(2)** ein Meßsignal erzeugt.
2. Längensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das piezoelektrische Element **(2)** durch die beiden Halteteile **(3), (4)** in Richtung (x) der Längenänderung (Δl) des Bauteils **(1)** so eingespannt ist, daß eine Längenänderung (Δl) des Bauteils **(1)** eine Änderung der Druck- oder Zugspannung des piezoelektrischen Elementes **(2)** bewirkt.
3. Längensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das piezoelektrische Element **(2)** durch die beiden Halteteile **(3), (4)** in Richtung quer zur Längenänderung (Δl) des Bauteils **(1)** so eingespannt ist, daß eine Längenänderung (Δl) des Bauteils **(1)** eine Änderung der Scherspannung des piezoelektrischen Elementes **(2)** bewirkt.
4. Längensor nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß er durch die Halteteile **(3), (4)** einer Druckvorspannung unterworfen wird, die doppelt so groß wie die im Betrieb zu erwartende maximale Zugspannung ist.
5. Längensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Bauteil **(1)** ein Rohrkörper ist, der ein Hochdruckfluid enthält, so daß die zu messende Längenänderung (Δl) des Bauteils **(1)** durch eine Änderung des Hochdrucks verursacht ist, und daß die Auswerteschaltung **(10)** so ausgebildet ist, daß sie ein Hochdrucksignal als Meßsignal liefert.
6. Längensor nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Rohrkörper eine Verteilerschiene einer Kraftstoffeinspritzanlage einer Brennkraftmaschine ist.
7. Längensor nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Bauteil **(1)** eine Welle oder ein anderer Körper ist und die Auswerteschaltung **(10)** ein Längensignal als Meßsignal liefert.

8. Längensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das piezoelektrische Element (2) als das Bauteil (1) umgebender Ringkörper ausgebildet ist. 5

9. Längensor nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß das piezoelektrische Element (2) als nur einseitig am Bauteil (1) angebrachter Körper ausgebildet ist.

10. Längensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Halteteile (3, 4) an dem Bauteil (1) durch Schweißen oder Schrauben befestigt sind. 10

11. Längensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das piezoelektrische Element (2) zwei Elektroden (6, 7) hat, die mit der übrigen Auswerteschaltung (10) kontaktierend oder kontaktfrei verbunden sind. 15

12. Längensor nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden (6, 7) quer zur Richtung (x) der Längenänderung (Δl) verlaufenden Flächen des piezoelektrischen Elementes (2) zugeordnet sind (Fig. 1, 5). 20

13. Längensor nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden (6, 7) parallel zur Richtung (x) der Längenänderung (Δl) verlaufenden Flächen des piezoelektrischen Elementes (2) zugeordnet sind (Fig. 2-4). 25

14. Längensor nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß eine (7) der beiden Elektroden (6, 7) gegenüber den Halteteilen (3, 4) isoliert ist und die andere Elektrode (6) an Masse liegt. 30

15. Längensor nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß beide Elektroden (6, 7) gegenüber den Halteteilen (3, 4) isoliert sind.

16. Längensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Auswerteschaltung (10) eine Oszillatorschaltung (Fig. 7-10) aufweist, deren frequenzbestimmendes Element das piezoelektrische Element (2) ist. 35

17. Längensor nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß das piezoelektrische Element als Longitudinal-, Transversal- oder Scherschwinger ausgebildet ist. 40

18. Längensor nach Anspruch 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Auswerteschaltung (10) eine Frequenz, Periodendauer, Phasenverschiebung, Schwebungsfrequenz oder Pulsweitenmodulation eines das piezoelektrische Element (2) durchlaufenden elektrischen Signals zur Erzeugung des Meßsignals verwendet. 45

19. Längensor nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß das Meßsignal ein Mittelwert- oder Augenblickswertsignal ist. 50

20. Längensor nach Anspruch 18 oder 19, dadurch gekennzeichnet, daß der Oszillator Sinus- oder Rechtecksignale verarbeitet. 55

21. Längensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein weiteres piezoelektrisches Element (2A) zwischen den Halteteilen (3, 4) so eingespannt ist, daß eine Längenänderung (Δl) des Bauteils (1) gegensinnige Änderungen der mechanischen Spannungen und elektrischen Eigenschaften der beiden piezoelektrischen Elemente (2, 2A) bewirkt. 60

22. Längensor nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß jedes Halteteil (3, 4) zwei entgegengesetzte Abstützflächen (13A, B; 14A, B) hat, die paarweise einander so zugeordnet sind, daß jedes piezoelektrische Element (2, 2A) zwischen zwei entgegen- 65

gerichteten Abstützflächen (13A, B; 14A, B) der bei den Halteteile (3, 4) eingespannt ist.

23. Längensor nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden piezoelektrischen Elemente (2, 2A) in Richtung (x) der Längenänderung (Δl) beabstandet zueinander zugeordnet sind (Fig. 12, 15).

24. Längensor nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden piezoelektrischen Elemente (2, 2A) quer zur Richtung (x) der Längenänderung (Δl) beabstandet zueinander angeordnet sind (Fig. 11, 13).

25. Längensor nach einem der Ansprüche 21 bis 24, dadurch gekennzeichnet, daß die Auswerteschaltung (10) zwei Oszillatorschaltungen aufweist, deren frequenzbestimmenden Elemente die beiden piezoelektrischen Elemente (2, 2A) sind, wobei die Auswerteschaltung (10) aus den die beiden piezoelektrischen Elemente (2, 2A) durchlaufenden Signalen ein Differenzsignal zwecks Erzeugung des Meßsignals bildet.

26. Längensor nach einem der Ansprüche 21 bis 24, dadurch gekennzeichnet, daß die Auswerteschaltung (10) eine Brückenschaltung mit zwei Zweigen aufweist, die die beiden piezoelektrischen Elemente (2, 2A) enthalten, wobei die Auswerteschaltung (10) aus den die beiden piezoelektrischen Elemente (2, 2A) durchlaufenden Signalen ein Differenzsignal zwecks Erzeugung des Meßsignals bildet.

27. Längensor nach Anspruch 25 oder 26, dadurch gekennzeichnet, daß das Differenzsignal durch einen Laufzeit- oder Phasenunterschied der beiden die piezoelektrischen Elemente (2, 2A) durchlaufenden Signale gebildet ist.

28. Längensor nach einem der Ansprüche 25 bis 27, dadurch gekennzeichnet, daß die Amplitude, Frequenz oder Phase des Differenzsignals zur Bildung des Meßsignals ausgewertet wird.

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

Fig. 1

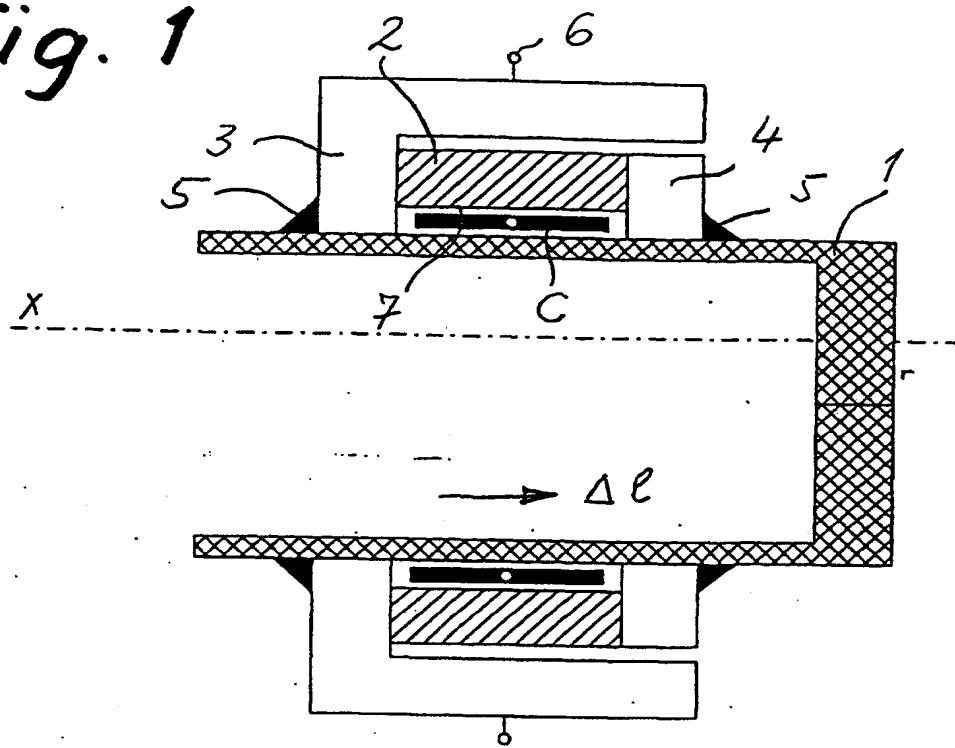


Fig. 2

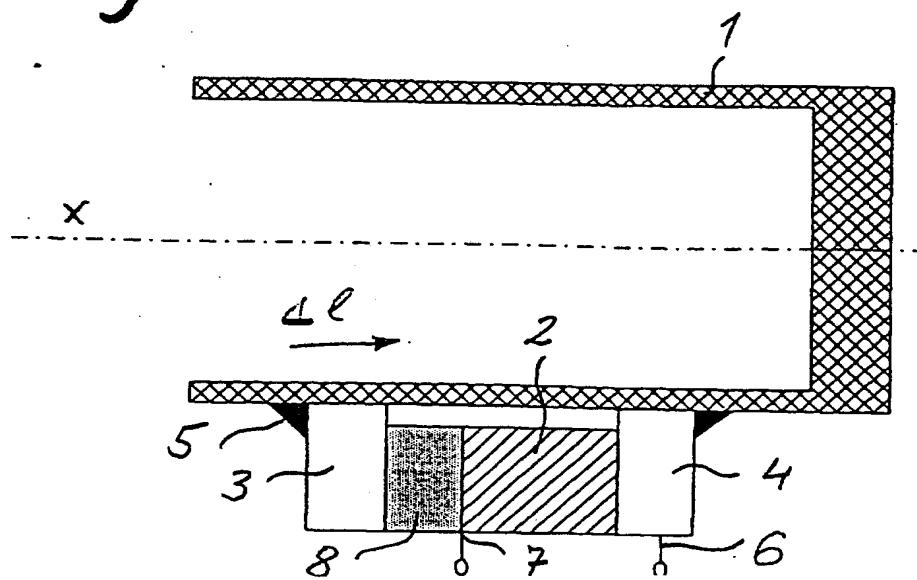


Fig. 3

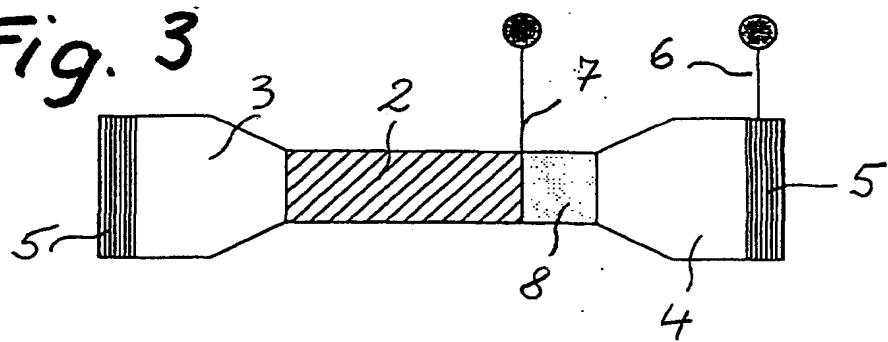


Fig. 4

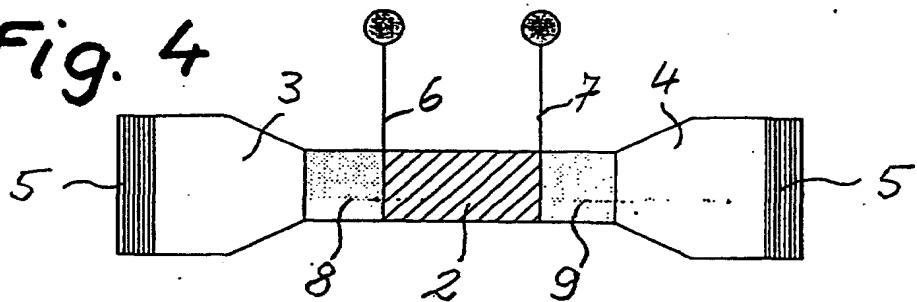


Fig. 5

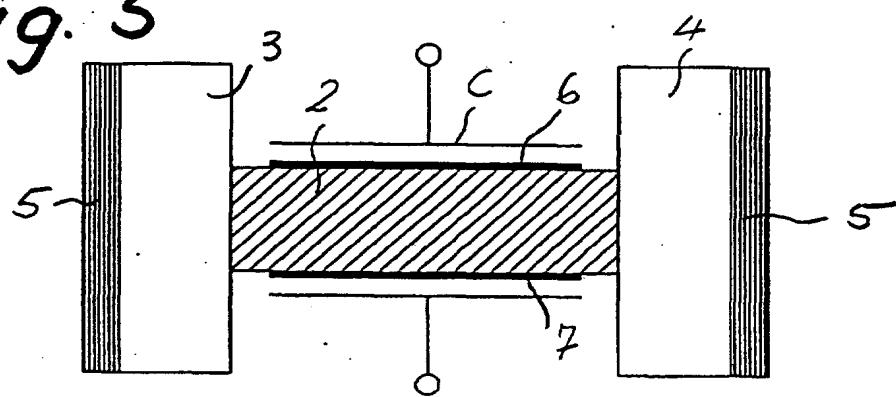
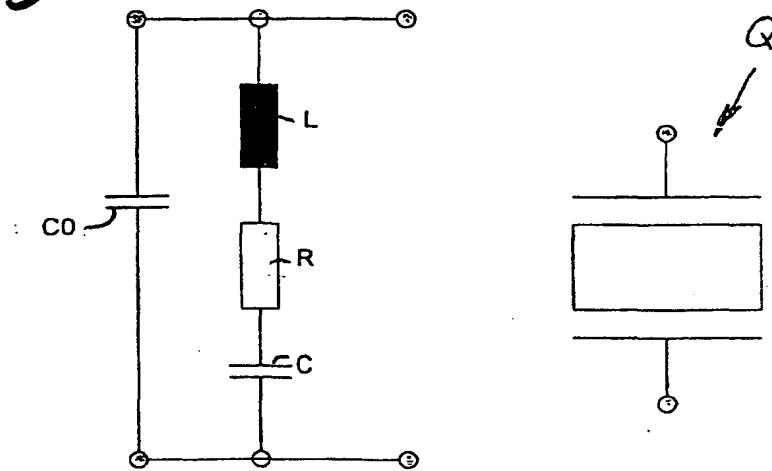


Fig. 6



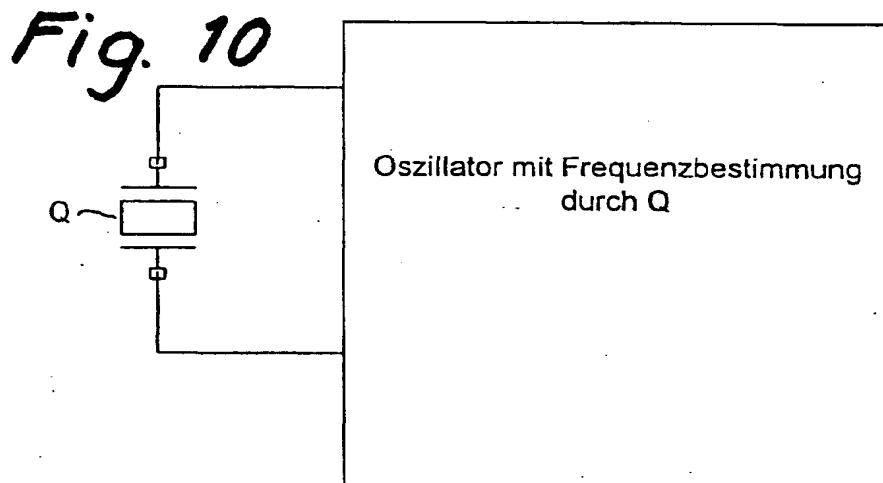
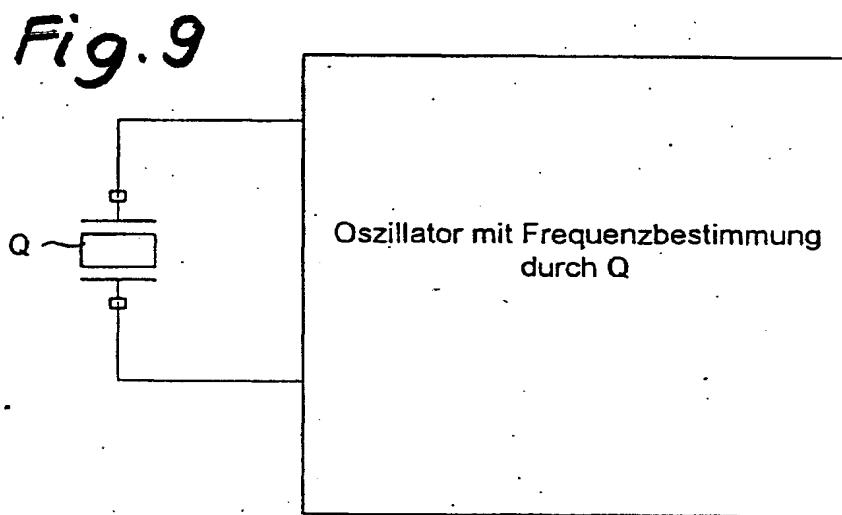
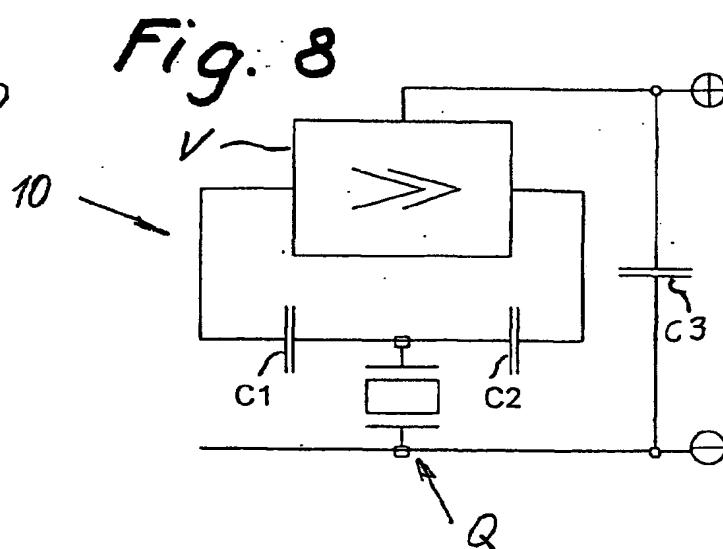
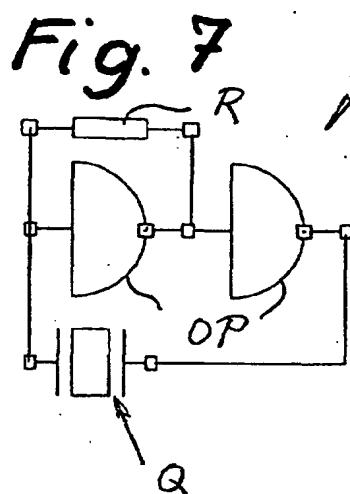


Fig. 11

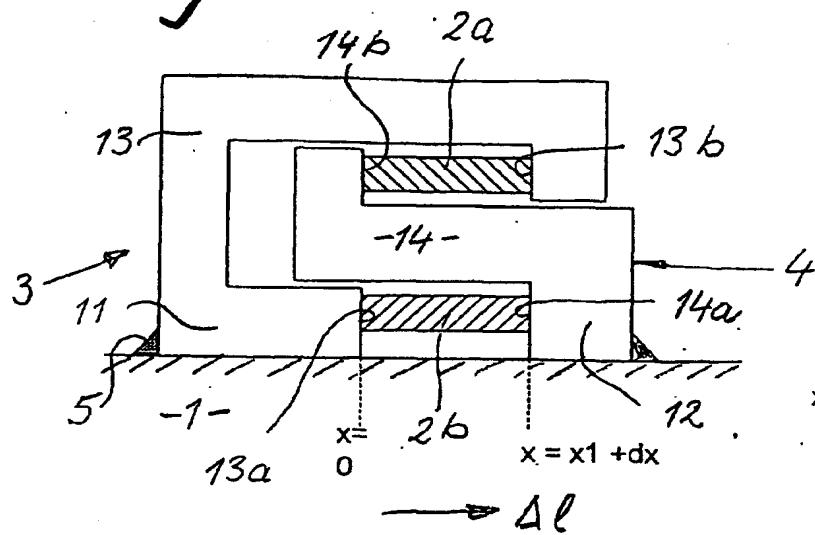


Fig. 12

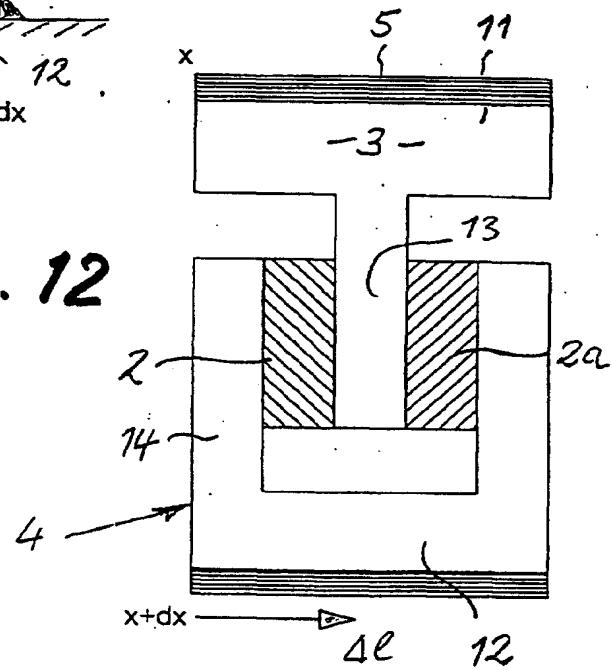


Fig. 13

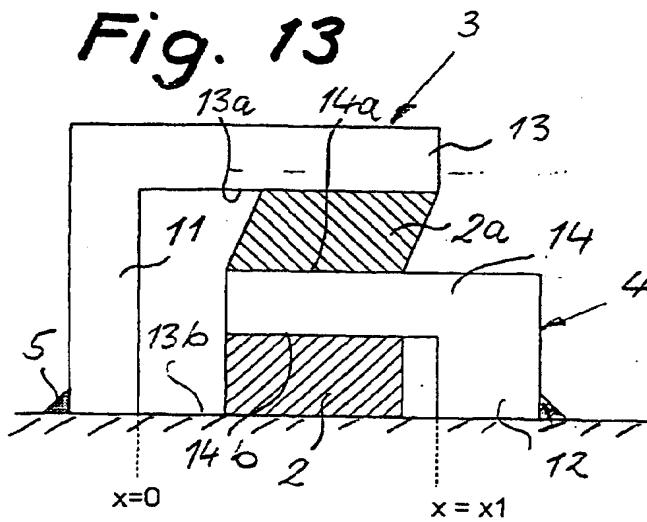


Fig. 14

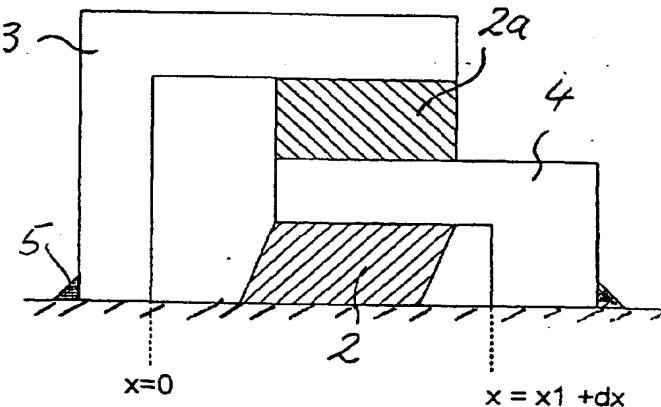


Fig. 15

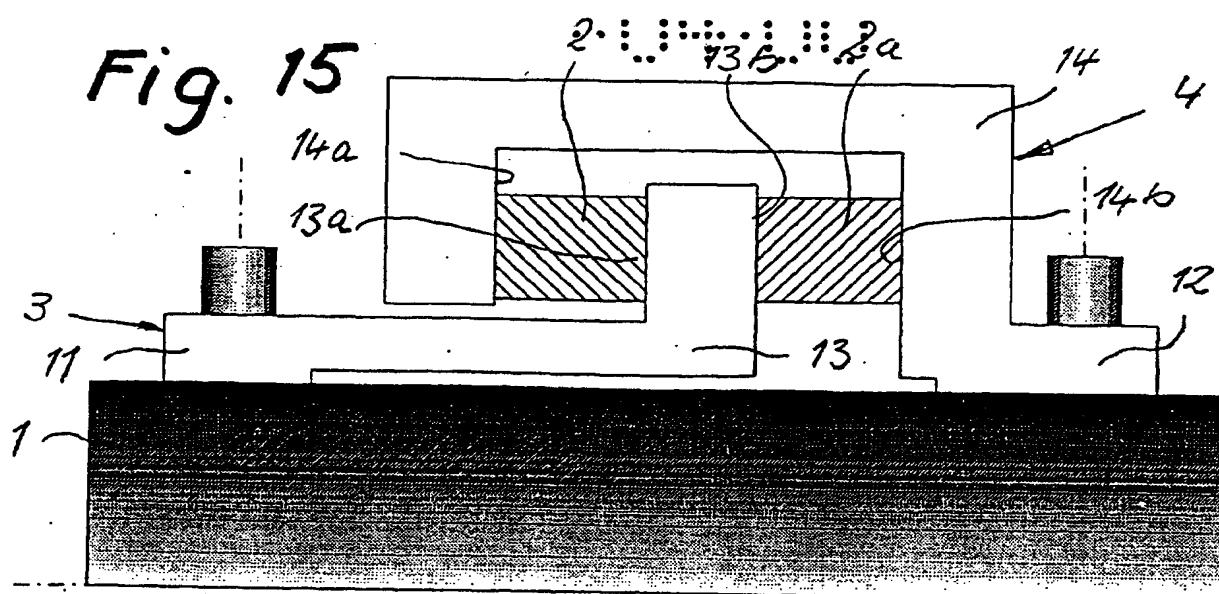


Fig. 16

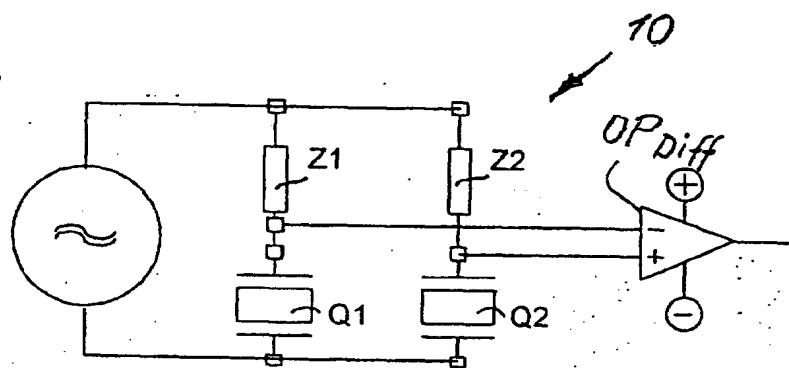


Fig. 17

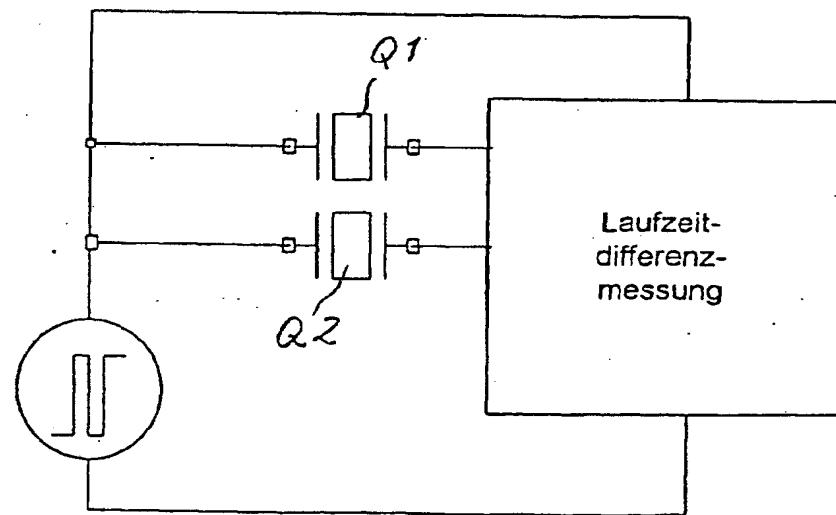


Fig. 18

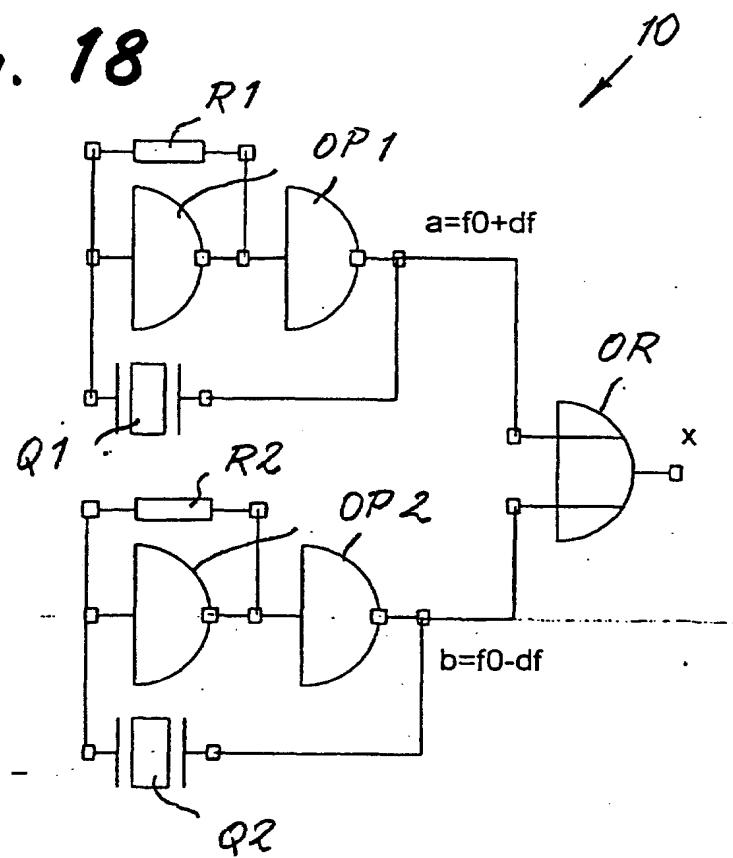


Fig. 19

